过瘤胃蛋氨酸和肉桂醛组合添加对奶牛产奶性能及氮排泄的影响

张成喜[1] 孙友德[2] 刘锡武[2] 孙国强[1*]

（1.青岛农业大学动物科技学院，青岛 266109；2.青岛市畜牧兽医研究所，青岛 266100）

摘 要：本试验旨在研究过瘤胃蛋氨酸（RPMet）和肉桂醛（CA）组合添加对奶牛产奶性能及氮排泄的影响。选取年龄、体重、胎次、产奶量、乳成分及泌乳期[（90±15） d]相近的荷斯坦奶牛 40 头分为 10 组，每组 4 头。对照（C）组饲喂基础饲粮，试验组补饲不同水平组合的 RPMet 和 CA，其中 RPMet 设 3 个水平，分别为 20（L）、25（M）、30（H） g/(d •头)；CA 设 3 个水平，分别为 15（L）、18（M）、21（H） g/(d • 头)，共组成 9 个不同水平组合，分别为 LL、ML、HL、LM、MM、HM、LH、MH、HH（第 1 个字母为 RPMet 添加水平，第 2 个字母为 CA 添加水平）。预试期 15 d，正试期 60 d。结果表明：1）除 LH 组外，各试验组产奶量均显著或极显著高于 C 组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），以 HL 组最高。2）各试验组乳脂率和乳蛋白率均高于 C 组，均以 HL 组最高，与 C 组均差异极显著（$P<0.01$）；各试验组乳体细胞数均低于 C 组，以 HL 组最低，与 C 组均差异极显著（$P<0.01$）。3）除 LH 组外，各试验组氮表观消化率和氮泌乳转化效率均显著或极显著高于 C 组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$），以 HL 组最高；LL、ML、HL、LM、MM、HM、LH、MH、HH 组总氮排泄量比 C 组分别降低了 17.45%（$P<0.01$）、18.79%（$P<0.01$）、20.80%（$P<0.01$）、10.41%（$P<0.01$）、12.49%（$P<0.01$）、15.22%（$P<0.01$）、3.37%（$P>0.05$）、5.12%（$P<0.05$）、7.43%（$P<0.05$），以 HL 组最低。结果提示，在泌乳奶牛饲粮中添加 RPMet 和 CA 可以提高奶牛产奶性能、降低奶牛氮排泄量；综合考虑上述指标，最佳组合为 RPMet 30 g/（d • 头）、CA 15 g/（d • 头）。

关键词：过瘤胃蛋氨酸；肉桂醛；产奶性能；氮排泄

中图分类号：S823

近年来，我国奶牛养殖业的蓬勃发展，特别是集约化、规模化程度的不断提高，有效缓解了奶牛市场供求矛盾，但同时奶牛粪污也对周边环境造成了严重污染，其中氮污染对环境的影响已经被公认为是造成环境污染的重要因素之一。反刍动物瘤胃是一个相对稳定的厌氧发酵系统，其中宿主与微生物之间以及微生物与微生物之间存在着一种既协同又相互制约的

收稿日期：2017-03-01

基金项目：山东省现代农业产业技术体系牛产业创新团队（SDAIT-09-08）

作者简介：张成喜(1988-)，男，山东临沂人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养。E-mail: zcares@126.com

*通信作者：孙国强，教授，硕士生导师，E-mail: qdnydxsgq@126.com

动态平衡关系[1]。由于瘤胃微生物对饲粮蛋白质的降解以及对氨基酸的脱氨基作用，导致饲粮蛋白质不能有效地为瘤胃微生物和宿主提供氨基酸，同时过量的氨态氮（NH_3-N）也会超出微生物的利用能力，造成饲粮蛋白质的浪费。因此，通过营养调控技术，在不影响奶牛产奶性能的前提下，提高饲粮蛋白质的利用率，减少氮排泄量，对于解决奶牛养殖过程中产生的氮污染问题具有积极的意义。蛋氨酸作为反刍动物的第 1 或第 2 限制性氨基酸，尤其对高产奶牛而言显得更为重要，并有生命氨基酸之称[2]。邹阿玲等[3]给泌乳早期荷斯坦奶牛补饲过瘤胃蛋氨酸（rumen-protected Methionine，RPMet）后，产奶量、乳蛋白率和牛奶比重均显著提高，同时 RPMet 还能提高乳脂率和乳非脂固形物的含量。杨维仁[4]在肉牛瘤胃内投饲动物油包被的蛋氨酸后发现，可以显著提高可消化氮和沉积氮。肉桂醛（cinnamic aldehyde，CA）又被称为桂醛、桂皮醛、三苯基丙烯醛等，为黄色液体，既可以从肉桂等植物中提取，也可以通过人工合成获得[5]。Cardozo 等[6]发现低水平肉桂油能够降低乳尿素氮含量和乳体细胞数。曹爱青[7]在肉牛饲粮中添加 300、600、900 mg/（d • 头）CA，饲料转化效率呈显著的线性增加趋势。本课题组前期的试验分别研究了 RPMet 对奶牛产奶性能和氮排泄的影响、CA 对奶牛产奶性能和氮排泄的影响，并确定了 RPMet 和 CA 的最适添加水平分别为 25 和 18 g/（d • 头）[8-9]。目前，RPMet 和 CA 联合使用对奶牛产奶性能和氮排泄影响的研究鲜有报道，最适添加水平组合也尚不清楚。本试验拟在前期试验最适添加水平的基础上，将 RPMet（最适添加水平 25±5 g）和 CA（最适添加水平 18±3 g）分别设置 3 个水平，共 9 个不同水平组合，探究 RPMet 和 CA 的最适添加水平组合，以期提高饲粮蛋白质的利用率和奶牛的产奶性能，降低奶牛的氮排泄，同时也为 RPMet 和 CA 在奶牛生产上的联合使用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验选用青岛奥特奶牛良种场年龄、体重、胎次、产奶量、乳成分及泌乳期[（90±15）d]相近的荷斯坦奶牛 40 头，随机分为 10 组，每组 4 头。对照（C）组饲喂基础饲粮，试验组补饲不同水平组合的 RPMet 和 CA，其中 RPMet 设 3 个水平，分别为 20、25、30 g/(d •头)；CA 设 3 个水平，分别为 15、18、21 g/(d • 头)，共组成 9 个不同水平组合，设计方案见表 1。每头奶牛每天预留 0.5 kg 精料，将其作为载体与 RPMet 和 CA 混合，剩余的精料与粗饲料

混匀后制成全混合日粮（TMR）。RPMet 和 CA 与精料混匀后再随 TMR 一起饲喂，整个试验期为 75 d，其中预试期 15 d，正试期 60 d。试验所用的 RPMet（过瘤胃率为 85%）和 CA 均购自青岛润博特生物科技有限公司，其中 RPMet 为白色颗粒状物质，其组成为 *DL*-蛋氨酸、二氧化硅等，*DL*-蛋氨酸≥60%，水分≤12%；CA 为白色粉末状物质，其组成为 CA、二氧化硅和淀粉等，CA≥5%，水分≤12%。

表 1　试验设计

Table1　Experimental design　g/(d・头)

组别 Groups	过瘤胃蛋氨酸 RPMet	肉桂醛 CA
C	0	0
LL	20	15
ML	25	15
HL	30	15
LM	20	18
MM	25	18
HM	30	18
LH	20	21
MH	25	21
HH	30	21

1.2　饲养管理

每天采用利拉伐挤奶机挤奶 2 次（04:00、16:00），每天饲喂 TMR 2 次（04:30、16:30），并且确保奶牛每天有 20 h 以上能够接触到 TMR。试验牛采食后可以在运动场自由饮水和运动，按照常规对其进行驱虫、光照和管理。TMR 组成及营养水平见表 2。

表 2　TMR 组成及营养水平（干物质基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of the TMR (DM basis)　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	19.30
麦麸 Wheat bran	2.34
豆粕 Soybean meal	6.53
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS	2.18
大豆皮 Soybean hull	3.95
全棉籽 Whole cottonseed	3.47
花生秧 Peanut hay	3.54
全株玉米青贮 Whole-plant corn silage	27.61
啤酒糟 Brewer's grains	7.42
苜蓿草 Alfalfa hay	14.77

燕麦草 Oat hay	5.63
脂肪酸钙 Calcium soap of fatty acid	0.36
食盐 NaCl	0.36
小苏打 $NaHCO_3$	0.36
预混料 Premix1)	1.82
生物脱霉素 Biological mycotoxin removement agent	0.36
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels2)	
粗蛋白质 CP	15.94
产奶净能 NE_L/(MJ/kg)	6.88
中性洗涤纤维 NDF	45.60
酸性洗涤纤维 ADF	21.68
钙 Ca	0.80
磷 P	0.38

1) 每千克预混料含 One kg of premix contained the following:VA 800 000 IU,VD_3 400 000 IU,VE 3 000 IU,Fe 2 000 mg,Cu 1 500 mg,Zn 1 200 mg,Mn 3 500 mg,I 100 mg,Se 50 mg,Co 50 mg。

2) 产奶净能为计算值，将配方中原料的产奶净能[10]分别与其所占的百分比相乘，然后相加；其余营养水平为实测值。NE_L was a calculated value, which was the sum of NE_L[10] of different ingredients multiplied by their percentages in diet; while the other nutrient levels were measured values.

1.3 试样采集与指标测定

1.3.1 采食量测定

试验牛分栏饲喂，单独记录每头牛的采食量。预试期第 1～3 天、第 5～7 天、第 9～11 天、第 13～15 天记录每头试验牛的投料量和剩料量，根据每次的投料量和剩料量计算每头牛的采食量。预试期结束后，计算出预试期内平均采食量。正试期内每 10 d 记录 1 次采食量，共记录 6 次，每次连续记录 3 d，根据 3 d 的采食量计算平均采食量，按照每次平均采食量调整下一阶段的 TMR 投料量。正试期结束后，根据 6 次采食量计算出正试期内平均采食量，用于计算主要养分采食量。

1.3.2 TMR 样和粪样的采集与测定

按四分法收集 TMR 样，并在烘箱中 65 ℃烘干制成风干样，粉碎后备用[11]。分别在预试期第 1～3 天、正试期第 28～30 天、正试期第 58～60 天采集 3 次粪样，采用全收粪法进

行，每组收集 4 头试验牛粪样。采集粪样前应先将牛床冲洗干净，每天及时收集粪样，将全部粪样混匀后称重，并按四分法收集当天的粪样，按每 100 g 粪样添加 25 mL 10%的硫酸固氮处理后放入冰箱－20 ℃冷冻保存，采样结束后将 3 d 内所留的粪样按样重比例均匀混合，放入烘箱中 65 ℃烘至恒重后保存。TMR 样：采用 GB/T6435-2006 测定水分含量，计算干物质（DM）含量；采用凯氏定氮法（GB/T 6432-1994）测定粗蛋白质（CP）含量；采用 NY/T 1459-2007 测定酸性洗涤纤维（ADF）含量；采用 GB/T20806-2006 测定中性洗涤纤维（NDF）含量；采用高锰酸钾法（GB/T6436-2002）测定钙（Ca）含量；采用分光光度法（GB/T6437-2002）测定磷（P）含量。粪样粗蛋白质含量测定同 TMR 样。

1.3.3 尿样的采集与测定

预试期第 1～3 天、正试期第 28～30 天、正试期第 58～60 天采集 3 次尿样，参考朱雯[12]点收尿法采样，每次采样时使用人工接尿结合膀胱取尿的方式进行采样，即先使用颈夹将牛固定，再把导尿管插到膀胱中依次采集每头牛的尿样，如果采集过程中试验牛出现自主排尿的姿势，则由专人负责接尿[11]，每天收集 2 次尿样，每隔 12 h 收集 1 次，连续收集 3 d，每天收集尿样的时间在前 1 天的基础上延后 4 h，收集的尿液按一定比例添加 98%的浓硫酸，调整 pH（pH<3），－20 ℃保存。

1.3.4 乳样的采集与测定

使用利拉伐鱼骨式挤奶机挤奶 2 次（04:00、16:00），自动显示产奶量。预试期和正试期每隔 5 d 记录 1 次试验牛产奶量，每次连续记录 3 d，取平均值。

在正试期第 15、30、45、60 天，按早、晚产奶量的比例共收集 65 mL 乳样，其中 50 mL 添加重铬酸钾防腐剂（0.6 mg/ml），混匀后放入冰箱 4 ℃保存用于测定乳成分含量，剩余 15 mL 经离心处理去除乳脂和乳蛋白后，取 1.5 mL 处理样置于冰箱中－20 ℃冷冻保存，用于测定乳尿素氮的含量。使用山东省农业科学院奶牛研究中心生产性能测定实验室的乳成分和体细胞自动分析仪（CombiFoss FT+，丹麦 Foss 公司）测定乳脂率、乳蛋白率、乳糖率以及乳体细胞数，并使用加权平均数法计算正试期各乳成分的含量。

1.3.5 氮代谢指标的测定

采用福斯 Kjeltec™ 8200 凯氏定氮仪（丹麦 Foss 公司）测定尿氮含量，采用苦味酸比色法[13]测定尿肌酐含量，使用 UV-1800PC 分光光度计（上海美谱达仪器有限公司）进行比色，

测定所用试剂盒购自南京建成生物工程研究所。参考 Valadares 等[13]的试验方法，用尿肌酐（每头牛每天 1 kg 体重约排出 29 mg 尿肌酐）标记来测定试验牛的排尿量。

氮代谢计算公式：

粪氮（g/d）=日排粪量×粪中粗蛋白质含量×0.16；

总氮排泄量（g/d）=粪氮＋尿氮；

氮表观消化率（%）=[（饲粮食入氮－粪氮）/饲粮食入氮]×100；

氮泌乳转化效率（%）=乳氮/饲粮食入氮×100。

1.4 数据处理与分析

使用 Excel 2016 软件对试验数据进行初步处理。使用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析，Duncan 氏法多重比较检验组间差异显著性，以 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 分别表示差异显著和极显著，结果以平均值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛主要养分采食量的影响

由表 3 可以看出，饲粮中添加不同水平组合的 RPMet 和 CA 有利于提高奶牛的主要养分采食量，但试验组与 C 组之间均无显著差异（$P>0.05$）。

表 3 添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛主要养分采食量的影响（干物质基础）

Table 3 Effects of combinations of different supplemental levels of RPMet and CA on main nutrient intakes of dairy cows （DM basis） kg/d

组别 Groups	干物质 DM	粗蛋白质 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	钙 Ca	磷 P
C	21.28±0.29	3.39±0.05	9.70±0.13	4.61±0.06	0.17±0.01	0.08±0.01
LL	21.77±0.18	3.47±0.03	9.93±0.08	4.72±0.04	0.17±0.01	0.08±0.01
ML	21.80±0.30	3.47±0.05	9.94±0.14	4.73±0.07	0.17±0.01	0.08±0.01
HL	21.88±0.21	3.49±0.03	9.98±0.10	4.75±0.05	0.18±0.01	0.08±0.01
LM	21.58±0.29	3.44±0.05	9.84±0.13	4.68±0.06	0.17±0.01	0.08±0.01
MM	21.61±0.18	3.45±0.03	9.85±0.07	4.69±0.04	0.17±0.01	0.08±0.01
HM	21.69±0.20	3.46±0.03	9.89±0.09	4.70±0.04	0.17±0.01	0.08±0.01
LH	21.42±0.36	3.42±0.06	9.77±0.17	4.64±0.08	0.17±0.01	0.08±0.01
MH	21.44±0.26	3.42±0.04	9.78±0.12	4.65±0.06	0.17±0.01	0.08±0.01
HH	21.45±0.14	3.42±0.02	9.78±0.07	4.65±0.03	0.17±0.01	0.08±0.01

同列数据肩标不同的小写字母表示差异显著（$P<0.05$），不同的大写字母表示差异极显著（$P<0.01$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and with differrent capital letter superscripts mean extremely significant difference (*P*<0.01), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

2.2 添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛产奶量的影响

由表 4 可以看出，LL、ML、HL、LM、MM、HM、LH、MH、HH 组产奶量分别比 C 组提高了 16.07%（*P*<0.01）、19.40%（*P*<0.01）、22.17%（*P*<0.01）、12.49%（*P*<0.01）、13.46%（*P*<0.01）、15.27%（*P*<0.01）、3.94%（*P*>0.05）、6.60%（*P*<0.05）、9.30%（*P*<0.01），其中以 HL 组最高。

表 4　添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛产奶量的影响

Table 4　Effects of combinations of different supplemental levels of RPMet and CA on milk yield of dairy cows

kg/d

组别 Groups	产奶量 Milk yield
C	29.56 ± 0.60^{gF}
LL	34.31 ± 0.22^{bcABC}
ML	35.29 ± 0.26^{abAB}
HL	36.11 ± 0.12^{aA}
LM	33.25 ± 0.82^{cdBCD}
MM	33.54 ± 0.37^{cdBCD}
HM	34.08 ± 0.29^{bcABC}
LH	30.72 ± 0.68^{fgEF}
MH	31.51 ± 0.65^{efDEF}
HH	32.31 ± 0.29^{deCDE}

2.3 添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛乳成分含量的影响

由表 5 可以看出，乳脂率以 HL 组最高，其极显著高于 C、LM、LH、MH、HH 组（*P*<0.01），显著高于 MM 组（*P*<0.05）；在乳蛋白率方面，也以 HL 组最高，其极显著高于 C、LM、LH、MH、HH 组（*P*<0.01），显著高于 MM、HM 组（*P*<0.05）；补饲 RPMet 和 CA 后乳体细胞数降低，以 HL 组最低，极显著低于 C 组（*P*<0.01）；补饲 RPMet 和 CA 后，各组间乳糖率差异不显著（*P*>0.05）。

表 5　添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛乳成分含量的影响

Table 5　Effects of combinations of different supplemental levels of RPMet and CA on milk composition contents of dairy cows

组别	乳脂率	乳蛋白率	乳糖率	乳体细胞数

Groups	Milk fat percentage/%	Milk protein percentage/%	Milk lactose percentage/%	Milk somatic cell count/(10^3 个/mL)
C	3.31 ± 0.05^{fE}	3.19 ± 0.06^{eD}	5.15 ± 0.04	170.44 ± 4.75^{aA}
LL	3.73 ± 0.08^{abcABC}	3.63 ± 0.05^{abcAB}	5.21 ± 0.04	143.84 ± 6.02^{deDEF}
ML	3.83 ± 0.09^{abAB}	3.72 ± 0.05^{abA}	5.35 ± 0.04	136.27 ± 3.80^{efEF}
HL	3.90 ± 0.07^{aA}	3.81 ± 0.07^{aA}	5.21 ± 0.06	132.26 ± 3.50^{fF}
LM	3.53 ± 0.08^{cdefBCDE}	3.47 ± 0.04^{cdBC}	5.35 ± 0.02	158.83 ± 2.53^{abcABCD}
MM	3.60 ± 0.09^{bcdeABCDE}	3.56 ± 0.08^{bcAB}	5.20 ± 0.14	154.17 ± 2.59^{bcdBCD}
HM	3.70 ± 0.06^{abcdABCD}	3.60 ± 0.04^{bcAB}	5.30 ± 0.04	148.82 ± 3.47^{cdCDE}
LH	3.37 ± 0.09^{efE}	3.22 ± 0.07^{eCD}	5.31 ± 0.07	167.39 ± 3.88^{aAB}
MH	3.39 ± 0.07^{efDE}	3.31 ± 0.05^{deCD}	5.22 ± 0.01	164.06 ± 2.97^{abABC}
HH	3.47 ± 0.09^{defCDE}	3.38 ± 0.08^{deBCD}	5.24 ± 0.07	160.35 ± 3.71^{abcABC}

2.4 添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛氮表观消化率及氮排泄的影响

由表 6 可以看出，补饲 RPMet 和 CA 后，奶牛粪氮和尿氮的排泄量均降低。LL、ML、HL、LM、MM、HM、LH、MH、HH 组总氮排泄量比 C 组分别减少了 17.45%（P<0.01）、18.79%（P<0.01）、20.80%（P<0.01）、10.41%（P<0.01）、12.49%（P<0.01）、15.22%（P<0.01）、3.37%（P>0.05）、5.12%（P<0.05）、7.43%（P<0.05），其中以 HL 组最低。添加 RPMet 和 CA 后，各试验组氮表观消化率和氮泌乳转化效率均提高，除 LH 组外均显著或极显著高于 C 组（P<0.05 或 P<0.01）。

表 6 添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛氮表观消化率及氮排泄的影响

Table 6 Effects of combinations of different supplemental levels of RPMet and CA on N apparent digestibility and excretion of dairy cows

组别 Groups	食入氮 N intake /(g/d)	粪氮 Feces N/(g/d)	尿氮 Urine N/(g/d)	总氮排泄量 Total N excretion/(g/d)	氮表观消化率 N apparent digestibility/%	氮泌乳转化效率 N conversion efficiency of lactation/%
C	551.37 ± 6.80	167.06 ± 2.70^{aA}	259.74 ± 4.88^{aA}	426.80 ± 6.35^{aA}	69.70 ± 0.67^{gG}	24.79 ± 0.57^{gG}
LL	564.69 ± 4.80	138.06 ± 2.56^{fgFG}	214.25 ± 2.78^{efEF}	352.31 ± 5.13^{fgFG}	75.55 ± 0.69^{abAB}	33.57 ± 0.69^{bcB}
ML	565.35 ± 5.55	136.52 ± 2.76^{fgFG}	210.10 ± 2.80^{efF}	346.62 ± 6.38^{fgG}	75.85 ± 0.62^{abAB}	34.83 ± 0.29^{abAB}
HL	566.57 ± 5.61	131.72 ± 3.47^{gG}	206.29 ± 5.28^{fF}	338.01 ± 7.56^{gG}	76.75 ± 0.77^{aA}	36.00 ± 0.76^{aA}
LM	560.03 ± 7.77	151.75 ± 2.50^{cdCDE}	230.62 ± 2.71^{cdCD}	382.37 ± 5.06^{cdCDE}	72.90 ± 0.37^{deCDE}	29.65 ± 0.28^{deDE}
MM	560.53 ± 5.66	146.62 ± 2.45^{deDEF}	226.86 ± 2.81^{dCDE}	373.47 ± 6.47^{deDEF}	73.84 ± 0.35^{cdBCD}	31.02 ± 0.53^{dCD}
HM	561.27 ± 4.47	142.12 ± 2.03^{efEF}	219.74 ± 3.53^{deDEF}	361.86 ± 4.20^{efEFG}	74.68 ± 0.41^{bcABC}	32.73 ± 0.57^{cBC}
LH	555.64 ± 3.66	162.67 ± 2.23^{abAB}	249.74 ± 3.27^{abAB}	412.42 ± 6.64^{abAB}	70.72 ± 0.34^{fgFG}	25.73 ± 0.45^{fgG}
MH	555.50 ± 5.14	159.28 ± 2.02^{bcABC}	245.65 ± 4.08^{bAB}	404.93 ± 5.88^{bABC}	71.33 ± 0.32^{fEFG}	26.84 ± 0.60^{fFG}
HH	555.91 ± 2.80	155.70 ± 2.52^{bcBCD}	239.41 ± 4.15^{bcBC}	395.10 ± 5.36^{bcBCD}	71.99 ± 0.48^{efDEF}	28.48 ± 0.50^{eEF}

3 讨 论

3.1 添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛主要养分采食量的影响

干物质采食量（DMI）作为影响奶牛生产性能的重要因素，提高奶牛 DMI 有助于为泌乳活动提供更多的营养物质和能量。本试验中，饲喂 CA 少的试验组 DMI 相对较高，因此，低水平的 CA 有提高 DMI 的趋势，RPMet 对 DMI 影响较小。武安泉等[14]给绵羊饲喂 N-乙酰-*DL*-蛋氨酸后，有提高绵羊 DMI 的趋势。张勇等[15]给奶牛饲喂大蒜油和 CA 的复合物，也有助于提高 DMI。饲喂 RPMet 和 CA 后奶牛 DMI 得到提高，可能是因为 RPMet 和 CA 改善了瘤胃内环境，促进了瘤胃和肠道对营养物质的消化吸收；饲粮中补饲 CA 能够增加唾液的分泌量[5]，唾液呈碱性有助于维持瘤胃内 pH 的稳定，同时 RPMet 在瘤胃中游离出来的少量蛋氨酸，可以改善瘤胃内的营养环境，促进瘤胃微生物的生长与繁殖[16]，加快了饲粮的分解速率。另外，CA 可以促进消化液的分泌，增强消化功能，解除胃、肠平滑肌痉挛以及痉挛性疼痛，也有利于提高 DMI[5]。

3.2　添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛产奶量的影响

产奶量作为衡量奶牛产奶性能的重要指标之一，在本试验条件下，CA 添加水平低的试验组产奶量显著提高，当 CA 添加水平相同时，RPMet 添加水平多的组产奶量提高幅度较大，其中以 HL 组最好。韩兆玉等[17]和张勇等[15]分别用 RPMet 和大蒜油与 CA 的复合物饲喂奶牛后发现，均能提高奶牛的产奶量。Rhoads 等[18]研究发现，奶牛的泌乳系统主要受到以生长激素（GH）为核心的生长激素轴的调控，Macrina 等[19]对泌乳早期奶牛进行 GH 处理后发现，产奶量比对照组提高了 36%。GH 和胰岛素（INS）之间相互作用，能够加速乳腺代谢，促使营养物质向乳腺转运，为乳的合成提供更多的前体物质[20]。饲粮中添加 RPMet 和 CA 后能提高血清 GH 和胰岛素样生长因子Ⅰ（IGF-Ⅰ）的含量[21-22]，其中 IGF-Ⅰ能促进乳腺的发育和乳腺细胞的增殖，间接促进了奶牛泌乳[23]；CA 降低了饲粮蛋白质的降解率，提高了到达小肠的氨基酸数量[24]，对提高奶牛产奶量起到积极的作用；另外，RPMet 和 CA 均能改善瘤胃内环境，促进瘤胃微生物的生长与繁殖，提高了对营养物质的消化吸收，也有利于产奶量的提高。

3.3　添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛乳成分含量的影响

乳脂率、乳蛋白率作为评价乳品质的重要指标，在本试验中，补饲 RPMet 和 CA 后，试验牛乳脂率和乳蛋白率得均到提高。韩兆玉等[17]夏季在奶牛饲粮中补饲 12 g/d RPMet，可以提高乳脂率和乳蛋白率，降低乳体细胞数。张勇等[15]给泌乳初期奶牛补饲大蒜油和 CA 的

复合物后，显著提高了试验组产奶量，显著降低了乳体细胞数。当奶牛处于泌乳高峰期时乳蛋白率普遍较低，主要是由于奶牛在泌乳初期 DMI 的增加幅度低于产奶量的提高幅度，导致奶牛处于营养负平衡状态，因此需要在奶牛泌乳初期补充 RPMet 以保证乳品质[25]。如果直接给奶牛补饲蛋氨酸，则大部分都会被瘤胃微生物所降解，能够到达小肠被吸收利用的蛋氨酸较少，最终失去了添加的意义。本试验研究表明，当饲喂相同水平的 CA 时，高水平的 RPMet 更有助于提高乳脂率和乳蛋白率，其中以 HL 组最好。乳脂率和乳蛋白率提高的原因，可能是饲喂 RPMet 和 CA 后提高了机体 GH 和 INS 的含量，GH 能促进乙酰辅酶 A 羟化酶、脂肪酸合成酶和脂蛋白酶的合成（乙酰辅酶 A 羟化酶为脂肪酸合成的限速酶）[23]，这 3 种酶的合成量增加有利于促进脂肪酸等物质的合成，为泌乳活动提供更多的前体物质和能量；INS 则是乳腺发育和维持乳腺功能的必需激素，直接调节乳腺组织蛋白质的合成[26]；同时，GH 和 INS 的交互作用可以显著提高泌乳早期奶牛产奶量和乳蛋白产量[27]；另外，RPMet 和 CA 可以改善瘤胃内的营养环境，促进了瘤胃微生物蛋白的合成，进而为乳蛋白的合成提供了更多的前体物质。RPMet 中含有的少量过瘤胃脂肪可以为乳脂的合成提供原料[28]，CA 具有降糖调脂的作用[5]，都有助于提高乳脂率。

乳体细胞数作为衡量乳品质和奶牛乳房健康状况的重要指标，乳体细胞数越少，表明乳房的健康状况越好，隐性乳房炎的发病率就越低。在本试验条件下，饲粮中同时添加 RPMet 和 CA 后，乳体细胞数得到降低，说明乳房健康状况得到改善。RPMet 和 CA 均能提高机体的免疫力，其中 RPMet 可以清除体内的自由基，降低淋巴细胞的凋亡率，提高奶牛机体的免疫力和抗氧化能力[17]，CA 可以显著提高淋巴细胞的增殖能力，极显著活化巨噬细胞的吞噬能力[29]。另外，CA 还具有良好的抑菌杀菌作用，其结构中的醛基为亲水基，容易被真菌表面的亲水基所吸附，从而破坏细胞壁的多糖结构穿透细胞壁[30]。抑菌杀菌作用和提高机体免疫力的功能，都有助于降低乳体细胞数，提高乳房的健康状况。

3.4　添加不同水平组合 RPMet 和 CA 对奶牛氮表观消化率及氮排泄的影响

瘤胃内 NH_3-N 的损失是造成奶牛饲粮蛋白质利用率较低的重要因素，因此通过营养调控技术提高奶牛瘤胃内 NH_3-N 的利用率，对于提高氮利用率、减少氮排泄都有重要的意义。蛋氨酸作为反刍动物第 1 或第 2 限制性氨基酸[2]，其缺乏不仅会影响氨基酸平衡，还会限制其他氨基酸的利用，不能利用的氨基酸以氨的形式经过鸟氨酸循环转化为尿素随尿液排出体

外。本试验结果表明，CA 添加水平低的试验组总氮排泄量极显著降低，当 CA 的添加水平相同时，RPMet 添加水平高的试验组氮排泄降低幅度最大，其中以 HL 组最好。CA 可以降低蛋白质在瘤胃中的降解率[24]，降低了瘤胃内因蛋白质分解过快而导致的氮损失，RPMet 在瘤胃内游离出来的少量蛋氨酸可以改善瘤胃内的营养环境，促进瘤胃微生物的生长与繁殖[16]，进而加快了瘤胃微生物利用 NH_3-N 的速度，减少了瘤胃内 NH_3-N 的损失，RPMet 和 CA 对瘤胃内 NH_3-N 生成速度和利用速度的调控有利于改善两者的平衡状态，提高氮利用率，减少氮排泄。RPMet 在瘤胃后消化道中有效释放的蛋氨酸有助于提高小肠蛋氨酸的数量，促使小肠内的氨基酸组成趋向平衡，提高了小肠氨基酸的利用率[31]，减少了氮排泄；CA 能够促进肠道丁酸的分泌，而丁酸不仅能刺激消化道细胞的增殖分裂，还能刺激胰脏的腺体分泌大量的消化酶，进而提高消化道对养分的吸收能力[32-33]，也有助于减少氮排泄。

4 结 论

奶牛饲粮中同时添加 RPMet 和 CA 能够提高奶牛产奶性能、减少氮排泄，综合考虑上述指标，最佳组合为 RPMet 30 g/(d・头)、CA 15 g/（d・头）。

参考文献：

[1] 郝正里,刘世民,孟宪政.反刍动物营养学[M].兰州:甘肃民族出版社,2000.

[2] 董贤文.过瘤胃赖氨酸、过瘤胃蛋氨酸的研发[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2013.

[3] 邹阿玲,孙国军,李明强,等.过瘤胃蛋氨酸对泌乳早期奶牛生产性能的影响[J].中国奶牛,2005(2):27–29.

[4] 杨维仁.瘤胃保护性氨基酸对肉牛消化代谢影响及适宜供给量的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2004.

[5] 周明,陈征义,申书婷.肉桂醛的制备方法和生物学功能[J].动物营养学报,2014,26(8):2040–2045.

[6] CARDOZO P W,CALSAMIGLIA S,FERRET A,et al.Effects of natural plant extracts on ruminal protein degradation and fermentation profiles in continuous culture[J].Journal of Animal Science,2004,82(11):3230–3236.

[7] 曹爱青.肉桂醛在肉牛生产上的应用研究[J].饲料广角,2012(16):37–38.

[8] 张成喜,孙友德,刘锡武,等.过瘤胃蛋氨酸对奶牛瘤胃微生物蛋白产量、产奶性能和氮排泄的影响[J].动物营养学报,2017,29(5):1759-1766.

[9] 张成喜,刘开东，孙国强.肉桂醛对奶牛尿中嘌呤衍生物排出量、产奶性能和氮排泄的影响[J].动物营养学报,2017,29(6):2010-2017.

[10] 冯仰廉,陆治年.奶牛营养需要和饲料成分[M].3 版.北京:中国农业出版社,2007:2.

[11] 王玲,孙友德,刘锡武,等.半胱胺对奶牛瘤胃微生物蛋白产量、产奶性能和氮排泄的影响[J].动物营养学报,2015,27(4):1262–1269.

[12] 朱雯.粗料来源对奶牛乳蛋白前体物生成与生产性能的影响与机制研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2013.

[13] VALADARES R F D,BRODERICK G A,FILHO S C V,et al.Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives[J].Journal of Dairy Science,1999,82(12):2686–2696.

[14] 武安泉,杨开伦,雒秋江,等.瘤胃投注 N-乙酰-DL-蛋氨酸对绵羊瘤胃消化代谢的影响[J].草食家畜,2006(2):39–44.

[15] 张勇,高原,朱宇旌,等.大蒜油和肉桂酸复合物对奶牛生产性能及营养物质消化的影响[J].中国饲料,2012(5):17–20.

[16] 段红伟.N-羟甲基蛋氨酸钙的过瘤胃效果及其对瘤胃环境和饲料养分消化的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2000.

[17] 韩兆玉,周国波,金志红,等.过瘤胃蛋氨酸对热应激下奶牛生产性能、淋巴细胞凋亡以及相关基因的影响[J].动物营养学报,2009,21(5):665–672.

[18] RHOADS M L,MEYER J P,KOLATH S J,et al.Growth hormone receptor insulin like growth factor (IGF)-Ⅰ,and IGF-binding protein-2 expression in the reproductive tissue of early postpartum dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2008,91(5):1802–1813.

[19] MACRINA A L,KAUF A C W,KENSINGER R S.Effect of bovine somatotropin administration during induction of lactation in 15-month-old heifers on production and health[J].Journal of Dairy Science,2011,94(9):4566–4573.

[20] 潘龙,卜登攀,孙鹏,等.生长激素轴的组成及其对奶牛泌乳的调控[J].中国畜牧兽医,2013,40(1):125–130.

[21] 耿忠诚,刘丽丽,张虎,等.过瘤胃蛋氨酸对绒山羊血液激素的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2011,23(2):20–23.

[22] 张强,朴香淑,张宏宇,等.低能量日粮中添加植物精油对仔猪生长性能、抗氧化活性及其免疫性能的影响[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十一次全国动物营养学术研讨会论文集.长沙:中国畜牧兽医学会动物营养学分会,2012.

[23] 吴丹丹,滕乐邦,栾正庆,等.小肽对奶牛瘤胃微生物蛋白产量、产奶性能和氮排泄的影响[J].动物营养学报,2016,28(4):1090–1098.

[24] 徐晓明,CARDOZO P W,邓莹莹,等.日粮中添加植物提取物对泌乳初期奶牛生产性能的影响[J].乳业科学与技术,2010,33(3):139–141.

[25] 姜明鑫,杨连玉.过瘤胃胆碱和蛋氨酸对泌乳早期奶牛生产性能和健康状况影响的研究现状[J].经济动物学报,2013,17(4):228–231,235.

[26] 毕微微.蛋氨酸、赖氨酸二肽对奶牛乳腺上皮细胞泌乳机能的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2013.

[27] MOLENTO C F,BLOCK E,CUE R L,et al.Effects of insulin,recombinant bovine somatotropin,and their interaction on insulin-like growth factor-Ⅰ secretion and milk protein production in dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2002,85(4):738–747.

[28] 毕晓华,张晓明.过瘤胃保护蛋氨酸对奶牛氨基酸代谢和血液生化指标的影响[J].饲料研究,2014(21):48–53.

[29] LEE S H,LILLEHOJ H S,JANG S I,et al.Cinnamaldehyde enhances *in vitro* parameters of immunity and reduces *in vivo* infection against avian coccidiosis[J].British Journal of Nutrition,2011,106(6):862–869.

[30] 张文平,傅颖媛,谢小梅.柠檬醛、肉桂醛抗曲霉菌作用机制研究[J].江西医学院学报,2003,43(6):10–13.

[31] 燕磊.瘤胃保护性蛋氨酸对小尾寒羊氨基酸代谢影响的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2005.

[32] MAZZONI M,LE GALL M,DE FILIPPI S,et al.Supplemental sodium butyrate stimulates different gastric cells in weaned pigs[J].The Journal of Nutrition,2008,138(8):1426–1431.

[33] TIIHONEN K,KETTUNEN H,BENTO M H L,et al.The effect of feeding essential oils on broiler performance and gut microbiota[J].British Poultry Science,2010,51(3):381–392.

Effects of Rumen-Protected Methionine and Cinnamic Aldehyde on Lactation Performance and Nitrogen Excretion of Dairy Cows

ZHANG Chengxi[1] SUN Youde[2] LIU Xiwu[2] SUN Guoqiang[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao* 266109, *China*; 2. *Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine of Qingdao, Qingdao* 266100, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to determine the effects of combinations of rumen-protected methionine (RPMet) and cinnamic aldehyde (CA) on lactation performance and nitrogen excretion of dairy cows. Forty Holstein lactating dairy cows with similar age, body weight, parity, milk yield, milk composition and lactation period (90±15 days post-calving) were divided into 10 groups with 4 cows per group. Control (C) group was fed a basal diet, experimental groups were supplemented with different combinations of RPMet [20（L）, 25（M）and 30 （H） g/(d•head)] and CA [15 （L）, 18 （M） and 21 （H） g/(d•head)] to constitute 9 combinations, which was named as LL, ML, HL, LM, MM, HM, LH, MH and HH (first letter indicated RPMet supplemental level, and the second letter indicated CA supplemental level), respectively. The pre-experiment lasted for 15 days, and the experiment lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) except LH group, milk yield in experimental groups was significantly higher than that in C group （P<0.05 or P<0.01）, HL group was the highest. 2) Milk fat percentage and milk protein percentage in experimental groups were higher than those in C group, and HL was the highest, which was significantly higher than C group （P<0.01）; milk somatic cell count in experimental groups was higher than those in C group, and HL was the highest, which was significantly higher than C group （P<0.01）. 3) Except LH group, compared with C group, nitrogen apparent digestibility and nitrogen conversion efficiency were significantly

increased （$P<0.05$ or $P<0.01$）, and HL group was the highest; compared with C group, total nitrogen excretion in LL, ML, HL, LM, MM, HM, LH, MH and HH groups was decreased by 17.45%（$P<0.01$）, 18.79%（$P<0.01$）, 20.80%（$P<0.01$）, 10.41%（$P<0.01$）, 12.49%（$P<0.01$）, 15.22% （$P<0.01$）, 3.37% （$P>0.05$）, 5.12%（$P<0.05$） and 7.43% （$P<0.05$）, respectively. The results indicate that dietary supplementations of RPMet and CA can improve lactation performance and reduce nitrogen excretion; considering all the above indexes, the optimal combination is 30 g/（d • head） RPMet and 15 g/（d • head） CA.

Key words: rumen-protected methionine; cinnamic aldehyde; lactation performance; nitrogen excretion

*Corresponding author, professor, E-mail: qdnydxsgq@126.com

（责任编辑　王智航）